CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
(C.R.T.)
CENTRE FOR RESEARCH ON TRANSPORTATION

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
C.P. 6128, SUCCURSALE A.
MONTRÉAL
CANADA H3C 3J7

TÉLÉPHONE: (514) 343-7575
TÉLEX: (21) 05-561325
EMAIL: crt@crt.umontreal.ca
TÉLÉCOPIEUR (FAX): (514) 343-7121

91-05309/

CRT-781

Le système expert en géographie des transports: application à Shanghai

par

Jean-Paul Rodrigue[1,3]
Claude Comtois[1,2,3]

[1] Département de géographie, Université de Montréal.
[2] Centre d'études de l'Asie de l'Est, Université de Montréal.
[3] Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale A, Montréal, Québec H3C 3J7 CANADA

Cette recherche a été rendue possible grâce à une subvention du fonds CAFIR de l'Université de Montréal.

Centre de recherche sur les transports — Publication #781

Mai 1991

Dépôt légal – 2ème trimestre 1991

Résumé

Le système expert en géographie des transports: application à Shanghai

L'objectif consiste à vérifier l'hypothèse suivant laquelle la technologie du système expert en géographie des transports doit d'abord être vue comme un ensemble de technologies complémentaires, car ce n'est qu'en soulignant le degré auquel l'assistance d'un ordinateur est requise dans la solution d'un problème, que l'utilisation d'un système expert sera favorisée. Le cas de Shanghai démontre la complexité des tâches à accomplir.

Mots clés: Transport, Géographie, Intelligence artificielle, Shanghai.

Abstract

Expert system in transport geography: application to Shanghai

The objective aims at verifying the hypothesis according to which the expert system technology in transport geography must first be seen as a set of complementary techniques, for it is only by underlying the degree to which a computer is required for solving problems, that the use of an expert system will be favored. The case of Shanghai demonstrates the complexity of such undertaking.

Key words: Transportation, Geography, Artificial Intelligence, Shanghai.

1. Le problème

La géographie des transports s'intéresse au mouvement des biens, des personnes et de l'information sur la surface terrestre. La transformation des activités économiques et l'accélération des échanges à l'échelle du globe démontrent toute l'importance qu'ont les transports dans le dynamisme et la structuration de l'espace urbain, car c'est bien dans les villes que se localise l'essentiel des activités de production. De toute évidence, le développement des villes accroît la complexité des interrelations entre les différents secteurs d'activités de localisation variée. Ce développement rend de plus en plus difficile la conception de solutions optimales aux problèmes d'inadéquation des interfaces entre les différents types d'utilisation du sol qui composent l'ensemble du système intra-urbain. La planification de ces interrelations est non seulement nécessaire, mais éminemment complexe. Aussi, les décideurs recherchent-ils les outils opérationnels de planification qui permettent de reconnaître les limites qu'imposent la structure urbaine sur la prise de décision et d'évaluer l'impact de leurs décisions sur l'organisation de l'espace urbain (Gunnarsson et Leleur, 1989). Une des solutions envisagée réside dans l'apport de l'intelligence artificielle. Dans les pages qui suivent nous chercherons à introduire l'utilisation d'une forme appliquée de l'intelligence artificielle, soit le système expert, dans le processus de décision. L'objectif consiste à vérifier l'hypothèse suivant laquelle la technologie du système expert en géographie des transports doit d'abord être vue comme un ensemble de technologies complémentaires car ce n'est qu'en soulignant le degré auquel l'assistance d'un ordinateur est requise dans la solution d'un problème, que l'utilisation d'un

système expert sera favorisée. Le système expert offre une puissante possibilité de planification et de compréhension des éléments, des liens et des fonctions qui caractérisent l'espace urbanisé. La création d'un système expert en géographie des transports implique la mise en oeuvre d'un ensemble de processus dont l'intégration permet d'évaluer les impacts désagrégés spatiallement et temporellement face à une décision de transport ou d'utilisation du sol sur l'organisation de l'espace.

L'interface entre différents types d'utilisation du sol fait l'objet de recherches méthodologiques récentes (Berechman et Small, 1988). Les résultats préliminaires aboutissent au développement et à l'application de techniques sophistiquées d'optimisation des transports et de l'utilisation du sol conjointement (Pryor, 1987). L'interaction entre transport et utilisation du sol relève toutefois d'une variété de paramètres géographiques, techniques, politiques, économiques, culturels et sociaux. Quelles sont les conditions de changement territoriaux dans le contexte d'une production économique élargie? Quelle est la capacité des différentes artères routières? Quel type de nouvelles infrastructures de transport est possible? Comment relier développement, fonction et structure de transport? Dans quelle mesure peut-on développer le transport intermodal? Comment préparer un programme systématique et compréhensif d'horaires de transport routier sur la base d'information et de données disponibles? Comment évaluer les priorités d'investissement dans le secteur routier? Comment déterminer des tarifs économiques efficaces et des sources de financement pour le réseau routier? Voilà nombre de questions qui nécessitent pour l'ébauche de leurs réponses une structuration de l'information disponible.

Le géographe accumule de l'information de plusieurs sources et entreprend une série d'étapes résolutives dans le but de présenter des alternatives à un décideur. L'application d'une multitude de techniques quantitatives est également possible. Lorsque l'analyse est complétée, le géographe doit ordonner de façon efficace les différents scénarios qui s'offrent à lui. Ce processus de comparaison des différentes alternatives peut être aidé par un système expert. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de Shanghai où la taille des problèmes, rend le processus de décision éminamnent complexe. La méthodologie de cet article consiste donc à intégrer l'analyse d'un système urbain complexe au processus de raisonnement d'un système expert. Cette méthodologie implique le développement de trois aspects: en premier lieu, la structure d'un système expert; en second lieu, la problématique de Shanghai; et en troisième lieu, l'approche d'un système expert à un problème particulier, soit l'interface entre les districts urbains de la municipalité.

2. La structure d'un système expert

2.1 Définition et objectif

Un système expert est un programme informatique qui peut effectuer un processus analytique raisonnable dans un domaine complexe. Ce programme doit avoir la capacité d'effectuer des tâches qui sont habituellement réalisées par un expert (Neapolitan, 1990; Pederson, 1989). Un système expert opérationnel doit être en mesure de décomposer un problème ou une question en plusieurs étapes. L'ensemble de ces étapes doit s'apparenter au processus de décision humain tels que partiellement défini par l'intelligence artificielle (IA) (Schank, 1987; Cordier, 1984). Cette démarche implique de façon générale que le système expert doit identifier des problèmes et leur cause, sélectionner les techniques qui permettent de corriger effectivement ces problèmes, combiner les techniques dans le cadre de stratégies praticables, et prédire la performance de différentes options (Abrahamsohn et al., 1986).

L'objectif du système expert (SE) est de permettre à l'utilisateur non spécialiste d'accéder à une base de connaissances et de suivre la logique des raisonnements du SE face à un problème dans un langage familier sans pourtant posséder l'expertise nécessaire à la résolution de ce problème particulier. Il est important de souligner que l'utilisateur est en constante interaction avec le système (D'Ambrosio, 1985; Michaelsen et al., 1985). Cette interaction peut se faire de diverses façons, mais l'optique questions-réponses est celle la plus utilisée. Le SE est composé d'une base de connaissances et d'un module d'inférence. Le module d'inférence est un programme qui utilise l'information selon des règles précises comprises dans la base de connaissances. C'est dans ce contexte qu'il y a utilisation des principes de l'IA. En conséquence, le système doit décomposer l'information en différentes parties de façon à ce que la structure organisationnelle du problème puisse être comprise. Cette démarche est complexe, car le module d'inférence doit reconnaître à la fois le contenu et la forme structurelle de l'information de la base de connaissances, les affirmations non-prouvées, le caractère illogique d'un raisonnement, les différences entre faits et inférences, la pertinence des données et la structure organisationnelle d'un problème. Il existe essentiellement deux types de raisonnement: la logique relationnelle déductive et la logique relationnelle inductive (Hall et al., 1987; Schank, 1987). La logique déductive implique l'application d'une théorie à des observations. C'est une approche de type: si [condition] alors [action, conclusion] (Thompson et Thompson, 1985). La logique inductive consiste en une modélisation théorique à partir d'un ensemble de données qui la rendent vraisemblable: c'est la représentation du problème. Cette représentation peut reposer sur des connaissances de différents domaines scientifiques, des opinions, des expériences ou même des croyances. Quelque soit le type de raisonnement artificiel utilisé, il est rare que la certitude des données qu'elle utilise dans son raisonnement soit absolue. Parfois, même le raisonnement utilisé est incertain. Tous ces concepts de *raisonnement dans l'incertitude* impliquent qu'un SE utilise dans ses algorithmes, des techniques de traitement de l'incertitude. Un SE qui raisonne dans l'incertitude doit être en mesure de porter des conclusions avec des données incertaines. Neapolitan (1990) aborde des concepts mathématiques de raisonnement dans l'incertitude, particulièrement la théorie des probabilités et de sa propagation dans une structure causale. La logique des ensembles flous (Negoita et Ralescu, 1987; Yager et al, 1987; Zadeth, 1965), et la théorie de l'évidence (Spillman, 1990; Shafer, 1976) sont aussi à considérer dans les processus de raisonnement dans l'incertitude.

2.2 Logique structurelle

La procédure à développer sous forme de système expert doit simuler une consultation entre un décideur et un géographe des transports. Le système doit utiliser de l'information sur l'utilisation du sol et le système de transport, tel qu'implantée par le géographe, qui guide l'utilisateur à travers des problèmes tels que l'évaluation et l'optimisation de l'utilisation du sol et des transports. Le problème implique donc deux activités: 1) l'évaluation de la situation présente (une reconnaissance de l'état de congestion du réseau routier ou l'apparition d'un secteur informel par exemple) et 2) le développement d'alternatives pour corriger les problèmes existants. De toute évidence, cette démarche requiert une bonne compréhension de la dynamique d'interface entre les transports et l'utilisation du sol.

L'approche d'un système expert en géographie des transports nécessite que le problème de transport et d'utilisation du sol soit clairement défini et que les règles doivent être bien établies. Après un examen des données et de leurs liens de causalité, plusieurs méthodologies sont évaluées en fonction des objectifs à atteindre. L'analyse procède ensuite à l'intégration de l'approche déductive et inductive à l'aide d'un dialogue continu entre l'utilisateur et le système expert. Lorsque le problème à résoudre est clairement identifié et que ses limites sont clairement définies, les sous-programmes peuvent être sélectionnés. Le SE est

alors en mesure de produire une évaluation et une optimisation des transports et de l'utilisation du sol. Le SE compare et ordonne différentes alternatives en fonction de critères identifiés par l'utilisateur.

Aussi, dans le plus simple des cas, le système expert est un processus de raisonnement qui comprend sept étapes: 1) collecte des données et connaissances; 2) structure relationnelle des variables; 3) établir une causalité; 4) résultats préliminaires; 5) analyse; 6) synthèse et 7) évaluation.

1) Collecte des données et connaissances: Le SE doit disposer d'une base de données sur le problème qu'il traite et d'une intégration des connaissances relatives aux problèmes spatiaux traités. Ces données peuvent être de deux ordres: quantitatif ou qualitatif.
2) Structure relationnelle des variables: Le fonctionnement d'un SE est lié à sa capacité de reconnaître l'information appropriée à un problème donné. Le SE doit être en mesure d'identifier un vocabulaire, des termes communs, des faits spécifiques, des méthodes, des procédures, des concepts de base, des principes et des théories. L'objectif est de permettre au SE de sélectionner les variables et les règles reliées à l'analyse et à la résolution du problème. La sélection peut être 1) triviale: où toutes les règles et toutes les données sont considérées; ou 2) complexe: requérant l'implantation de filtres qui éliminent certaines variables ou règles qui ne sont pas reliées au problème.
3) Établir une causalité: Il importe de saisir la signification de l'information et d'établir des liens de causalité. Cette étape nécessite une compréhension des éléments, ainsi que des relations entre les éléments d'un système afin de discerner les liens probants. Cette démarche permet de circonscrire le problème et de justifier les méthodes employées.
4) Résultats préliminaires: Le SE doit évaluer l'information dont il dispose, faire un usage correct d'une procédure résolutive des algorithmes mathématiques et/ou logiques pertinents selon la causalité et les interrelations des variables du problème. La nature des résultats peut être quantitative, qualitative ou les deux en même temps, ce qui de façon optimale est préférable compte tenu qu'un être humain traite mieux l'information qualitative que quantitative.
5) Analyse: Les résultats préliminaires sont évidemment sujets à un ensemble de variations des paramètres de chaque variable, ou des variables elles-mêmes. Le SE doit entre autre estimer les tendances futures issues des données de différents scénarios. Dans ce contexte il est essentiel de décomposer l'information en différents éléments de façon à ce que la structure organisationnelle du problème soit comprise. Cette étape repose sur la compréhension et la modélisation des mécanismes spatiaux qui caractérisent le problème et le territoire étudié.
6) Synthèse: Le SE doit rassembler ces alternatives. Cette étape requiert la formulation de nouveaux modèles ou de nouvelles structures de classification, l'intégration des connaissances de disciplines variées pour résoudre un problème donné, la formulation d'un nouveau cadre d'analyse pour classer des données, événements et idées et enfin, la production d'un plan d'opérations. L'objectif de la synthèse est de classer les options en fonction des moyens disponibles pour ainsi obtenir l'option qui semble la plus valable selon les critères fournis.
7) Évaluation: Le SE doit enfin juger de la valeur d'une proposition pour un objectif donné. Les jugements doivent être basés sur des critères internes: reliés à l'organisation du problème, ou externes: reliés à l'objectif visé. Le SE est alors en mesure de juger de la consistance logique de l'information, de juger de l'adéquation avec laquelle les conclusions sont reliées aux données, et de juger de la valeur d'une solution sur la base des critères internes et externes. Il doit réajuster ses connaissances et ajouter de nouvelles règles. Il s'agit en fait que le SE ait une certaine procédure d'apprentissage.

Il existe un grand nombre de problèmes à résoudre à travers ces étapes. L'objectif est de refléter la dimension du problème et le niveau d'informatisation nécessaire à sa résolution. Le niveau d'informatisation du problème détermine quelles étapes seront implantées sur plate-forme informatique et quelles étapes seront réalisées par le décideur. Au niveau actuel des connaissances, les étapes 2 (structure relationnelle des variables), 5 (analyse), 6 (synthèse) et 7 (évaluation) ne peuvent être simulée par ordinateur. Ceci tend à confirmer qu'il n'existe pas présentement de système expert opérationel qui puisse résoudre l'ensemble des étapes relatives à un problème de transport. Certains de ces problèmes sont triviaux pour le chercheur alors que pour le décideur, ils sont difficiles à maîtriser. Aussi, les cas requérant une décision en temps réel, ou ceux reliés à la gestion quotidienne d'une ville de grande taille apparaissent comme les meilleurs candidats pour l'utilisation d'un SE.

3. Shanghai

Vue sous l'angle d'une production élargie issue de l'adoption d'une politique d'ouverture économique de la part de la Chine, les stratégies shanghaiennes reposent sur une modernisation de l'équipement industriel et un développement des infrastructures de transport. Mais la réorganisation de l'espace industriel conjuguée aux mutations techniques du système de transport, remet en cause l'utilisation du sol et l'accessibilité territoriale de Shanghai. Aussi, la municipalité a-t-elle adopté un plan de développement de son territoire visant à faire de Shanghai "le plus important centre commercial le long de la côte occidentale de l'océan Pacifique" (The Comprehensive Plan of Shanghai, s.d.). Articulé en deux volets, le plan comporte une première stratégie consistant à réorganiser la structure urbaine de Shanghai. Le principe directeur de ce chapitre est d'établir une structure urbaine hiérarchique composée de la cité-même de Shanghai, des villes satellites, des marchés villageois et des comtés suburbains (Tableau 3.1).

Tableau 3.1
Structure urbaine de Shanghai

Structure	Nombre	Population	Description spatiale
Cité de Shanghai	1	-	Point polynucléé urbain
Ville satellite	14	300 000	Point nucléé urbain
Marché villageois	-	10 000	Point nucléé rural
Comté suburbain	-	40 000	Surface dénucléée rurale

Source: Comtois (1989).

Les changements majeurs sont prévus au sein de la cité-même qui sera divisée en neuf régions multifonctionnelles. Concrètement, chacune de ces régions assumera une fonction unique: commerce domestique, commerce extérieur, industrie de micro-électronique, etc. Cette stratégie de spécialisation territoriale de Shanghai s'explique partiellement par l'influence qu'y exerce le capital étranger. En effet, le degré d'accumulation du surplus de production est proportionnel à la spécialisation territoriale du travail. La tendance pour le capital est d'occuper les zones centrales, celles de haute accessibilité et les espaces de faible occupation. Ainsi, Lu Jia Zui, situé sur la rive est du Huangpu, est appelé à devenir un secteur commercial et financier prolongeant le quartier des affaires du centre-ville. La zone de développement industriel de Minhang, liée aux réseaux ferroviaire, routier et maritime, est réservée aux

investissements étrangers. Plusieurs quartiers tels ceux de Hongqiao et de Chengjiaqiao, situés aux frontières de la ville, sont destinés à une vocation résidentielle pour les étrangers. Outre cette réorganisation spatiale, le gouvernement chinois prévoit développer une infrastructure de transport qui permettra une accessibilité optimale de ces régions. La politique présidant à ce développement est similaire à celle adoptée dans plusieurs zones de libre-échange, notamment en Asie du Sud-Est. En effet, des études ont démontré que l'accessibilité d'un territoire à l'aide de moyens de transport rapides et efficaces, se définit comme l'un des facteurs favorisant l'apport de capitaux étrangers au sein de ces régions (Mutlu, 1979).

La seconde stratégie consiste à réorganiser l'infrastructure de transport déservant la municipalité. Les autorités prévoient la construction de nouveaux districts de déchargement à Baoshan et Guangang, de même que l'établissement de surfaces portuaires à Luojing, Waigaoqiao et Jinshanzui. Le développement du système ferroviaire s'effectuera selon un plan en quatre parties: 1) le doublement des lignes Shanghai-Nanjing et Shanghai-Hangzhou; 2) l'optimisation de rendement de la ligne reliant Nanjiang et Xinqiao; 3) la construction d'une ligne vers Waigaoqiao et d'une autre joignant le nord de la province de Jiangsu à Jiading et Chongming; 4) l'érection ou l'amélioration de quelques stations et cours ferroviaires. Plusieurs changements affecteront également le réseau routier. Quatre autoroutes nationales (Shanghai-Yantai, Shanghai-Urumqi, Shanghai-Lhasa et Shanghai-Kunming) de même que quatre autoroutes locales (trois axes nord-sud et une artère est-ouest) seront aménagées afin de réorienter la circulation routière à l'intérieur de la cité. Le gouvernement vise également un accroissement de la capacité de l'aéroport de Hongqiao et projette de construire un nouvel aéroport dans le comté de Chuansha près du Changjiang. Enfin, il est proposé de relocaliser l'aéroport de Jiangwan et de modifier l'utilisation du sol à celui de Longhua. Le terrain de ces aéroports fera l'objet de développement et d'aménagement urbain. Certes les données de cette nouvelle configuration spatiale ne seront pas sans affecter de façon importante la production locale et le paysage urbain.

Le poids économique de Shanghai est le résultat d'investissements considérables au sein de l'industrie du textile, de la chimie, de la construction mécanique et de la métallurgie. Les problèmes de logement, le vieillissement des infrastructures urbaines et la congestion éprouvée dans le système de transport de Shanghai résultent précisément d'une stratégie axée sur les investissements massifs par l'État au sein de la construction industrielle lourde en milieu urbain au détriment des autres secteurs de l'économie. L'emprise territoriale du secteur industriel entraîne deux conséquences majeures.

Premièrement, elle limite les possibilités de croissance des autres secteurs de l'économie et favorise de plus le développement d'un secteur informel dont le manque de locaux amène ce dernier à occuper les rues et, par le fait même, à gêner la circulation routière. En termes géographiques, on constate de plus la très forte densité de certains quartiers industriels traditionnels de l'intérieur (Luwan) et le long de la Wusong (Jingan), de même que la productivité élevée des aires portuaires (Yangpu) et des nouvelles surfaces industrielles (Wusong et Minhang). La politique d'industrialisation axée sur le développement des grandes agglomérations, a non seulement favorisé la concentration industrielle en bordure des axes de navigation, mais, de façon davantage marquée, l'emprise foncière de l'industrie incite maintenant à la colonisation industrielle de l'espace rural (Jinshan et Jiading).

Le plan de restructuration industrielle de Shanghai tend à favoriser la rénovation des entreprises existantes en matière technologique, le développement de nouvelles technologies et, enfin, l'aménagement de zones industrielles additionnelles. Cette stratégie s'inscrit dans

le cadre du développement des activités économiques à forte valeur ajoutée en vue de redéfinir la position de Shanghai au sein du marché à la fois extérieur et intérieur chinois. L'articulation de la dynamique entretenue entre le développement industriel et l'aménagement du territoire décide cependant de la forme urbaine. La décongestion industrielle de l'arrondissement de Shanghai s'avère fondamentale à la restructuration économique et territoriale. Aussi, la stratégie chinoise en matière de planification urbaine repose-t-elle partiellement sur la relocalisation industrielle. Pour être efficace, ce processus nécessite un développement des infrastructures du système de transport qui optimisera les liens entre les sources d'approvisionnement de matières premières et d'écoulement des biens manufacturés. L'ampleur et la rigidité des infrastructures relatives aux différents modes de transport existant, imposent toutefois des contraintes auxquelles il est difficile d'échapper.

Au plan technique, Shanghai possède un système de transport dualiste puisque les moyens traditionnels et modernes y co-existent en parallélisme. Un examen du système de transport de marchandises révèle que les moyens routiers traditionnels prédominent sur le recours au courtes distances, réduisant ainsi de façon considérable la capacité des routes modernes. Par ailleurs, le volume de fret per capita confirme la primauté du transport routier. Quoique le secteur moderne se soit développé en vue de répondre aux besoins de l'industrie lourde, les récents changements d'orientation économique au profit de l'industrie légère de même l'agriculture, réduisent le mouvement en vrac pour accélérer celui des biens de consommation. En raison du fait que ces produits circulent sur de courtes distances, en faible chargement et entre plusieurs points d'origine et de destination, de fortes demandes peuvent être pressenties au sein du transport routier.

La circulation des personnes constitue l'un des problèmes clé du système de transport de Shanghai. Bien que la mobilité des Chinois se soit accrue depuis 1949, l'engorgement des transports limite le développement et l'extension spatiale de plusieurs services vers les régions périphériques. La croissance démographique et l'augmentation du revenu personnel des Shanghaiens issu du développement économique, génèreront une très forte demande au sein du système de transport urbain.

L'optimisation des transports et de l'utilisation du sol exerce un rôle de pivot dans le cadre du processus de changements de configuration territoriale à Shanghai. Mais il existe une multitude d'intervenants et une grande variété de stratégies. Les autorités shanghaiennes reconnaissent d'emblée la nécessité de développer une nouvelle méthodologie pour améliorer le processus de décision.

4. L'approche d'un système expert à l'interface entre les districts urbains de Shanghai

A la lumière des concepts théoriques des systèmes experts et de la problématique de Shanghai, l'approche résolutive d'un problème en géographie des transports est abordé comme un processus de raisonnement comprenant sept étapes.

4.1 Etape 1: collecte des données

Les données les plus communément utilisées pour les problèmes d'interfaces et d'utilisation du sol sont les cartes de réseaux et d'utilisation du sol, les matrices origines/destinations des personnes et de marchandises, les variables socio-économiques, et les

composantes du trafic des passagers. Plus de 2 millions de personnes sont quotidiennement en transit à Shanghai. Le réseau d'autobus transporte 16 millions de passagers par jour. La vitesse effective aux heures de pointe au centre-ville est de 3 kms/heure. La congestion des autobus est telle, qu'on évalue leur densité à 9 personnes par mètre carré de plancher d'autobus soit 300% de leur capacité. A cela, il faut également ajouter que suite à la présence de concessions territoriales et à l'absence de planification urbaine, la densité des cables électriques et des réseaux de canalisation est dense au point d'imposer une limite à la taille des édifices à construire. Par ailleurs, la collecte de données nécessite également l'intégration de méthodologies en géographie des transports. A titre d'exemple, la présence de plus de 2 millions de bicyclettes à Shanghai est une contrainte importante dans la compréhension des matrices origines-destinations et exige à elle seule l'élaboration de nouveaux modèles d'assignation afin de mieux comprendre le comportement des usagers. De toute évidence pour structurer l'information disponible, les projets de développements de la municipalité requierts d'abord l'usage d'un système d'information géographique.

L'information disponible s'inscrit dans une base de connaissances. Une base de connaissance se définit comme un ensemble d'informations sur un sujet telles des données quantitatives et qualitatives. L'information se structure selon des règles. De toute évidence une base de connaissances qui porte sur un domaine spécifique est plus aisée à manipuler car elle contient un nombre restreint de règles, qui sont courtes et faciles à implanter dans un SE (Pederson, 1989). Une règle géographique a un sujet, un temps, un lieu, un objet, un complément et une certitude. Le sujet détermine sur quoi s'applique la règle, le temps et le lieu déterminent le contexte spatio-temporel de l'application de la règle, l'objet explique comment celle-ci s'applique, le complément détermine quelles conclusions doit-on porter si la règle s'applique et la certitude rattache un niveau d'erreur à la règle.

Il est important de souligner ici la difficulté d'obtenir des données fiables sur la Chine, et plus particulièrement sur Shanghai. En effet, le problème repose non pas seulement sur l'existence des données, mais sur la volonté des autorités à les divulger. Le tableau 4.1 présente les données désagrégées disponibles et la carte 4.1 illustre les districts urbains de Shanghai.

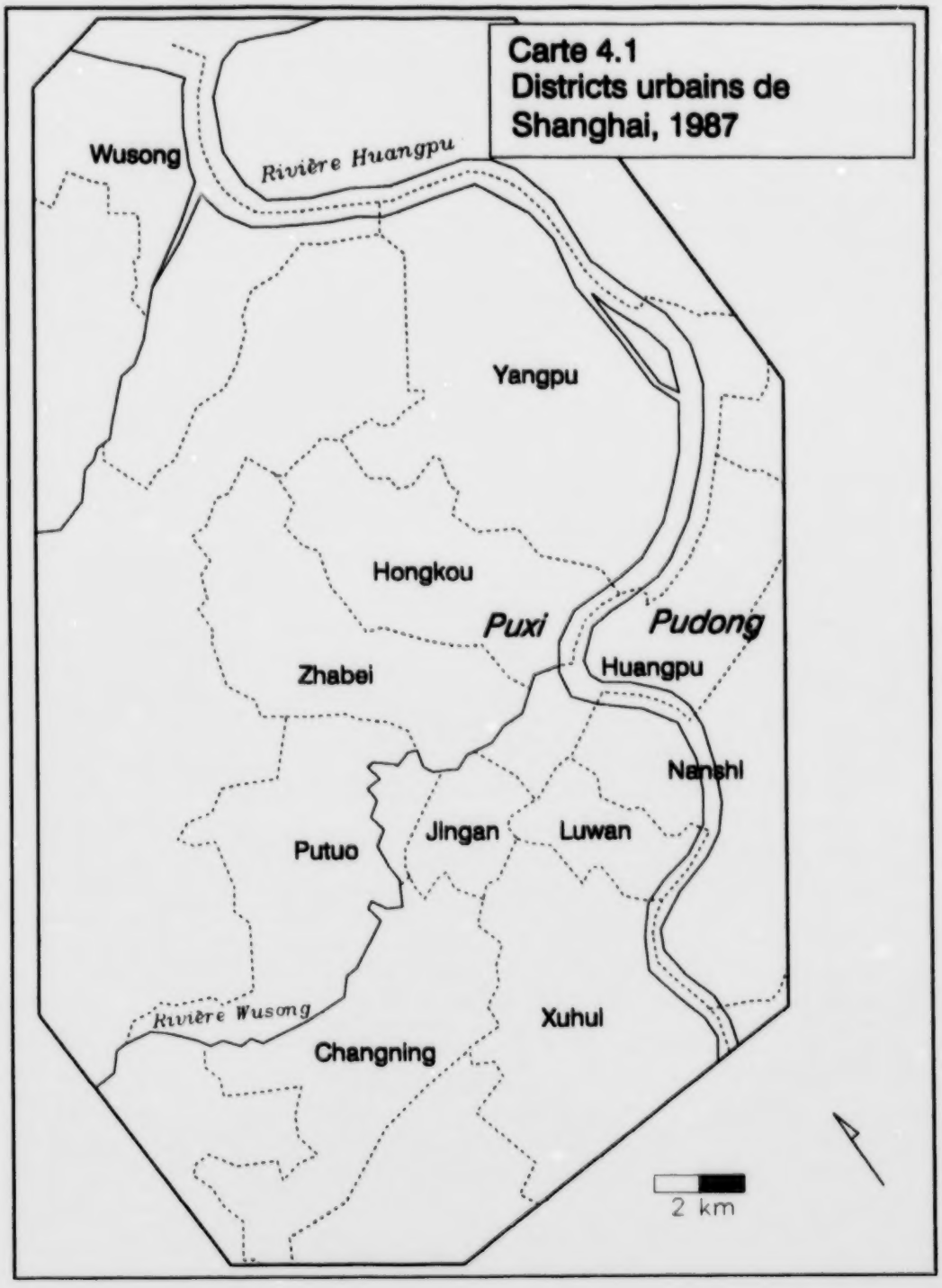

Carte 4.1
Districts urbains de
Shanghai, 1987
Wusong
Rivière Huangpu
Yangpu
Hongkou
Puxi
Pudong
Zhabei
Huangpu
Nanshi
Jingan
Luwan
Putuo
Rivière Wusong
Xuhui
Changning
2 km

Tableau 4.1
Quelques variables géographiques des districts urbains de Shanghai (sauf Minhang), 1987.

	T_{si}	T_{is}	P_i	S_i^1	S_i^2	A_i
Changning	3784.1	6460.2	17227	27.86	19.89	10244.3
Hongkou	11475.2	5850.2	35901	54.21	32.73	17325.4
Huangpu	2367.2	3904.8	36562	18.66	10.66	6272.0
Jingan	3511.2	5224.3	65591	29.61	11.53	8735.5
Luwan	3590.4	5294.0	63973	20.67	12.86	8884.4
Nanshi	4494.4	8276.2	33542	22.64	25.98	12770.6
Putuo	8149.9	20337.0	22437	44.35	19.32	28486.9
Wusong	2828.9	1650.7	3407	6.93	43.87	4479.6
Xuhui	9195.4	5856.7	15104	56.00	25.80	15052.1
Yangpu	13630.2	4631.1	18378	83.51	74.28	18261.3
Zhabei	9917.9	5459.7	23980	25.02	26.43	15377.6

T_{si} sont les intrants du district (x10 personnes).
T_{is} sont les extrants du district (x10 personnes).
P_i est la densité de la population du district.
S_i^1 est la valeur de la production industrielle légère du district (x100 millions de yuan).
S_i^2 est la valeur de la production industrielle lourde du district (x100 millions de yuan).
A_i est l'accessibilité du district[1].
Sources: Annuaire statistique de Shanghai, 1988, et matrice O-D de Shanghai, 1982.

Les variables relatives à la structure de l'emploi ne sont reliées qu'au secteur industriel. Les interactions ne sont liées qu'aux mouvements de personnes et non aux mouvements de marchandises et d'information. L'identification de ces variables permet d'établir leur structure relationnelle.

4.2 Etape 2: structure relationnelle des variables

Dans le cas présent, la relation entre les variables repose sur un modèle d'interaction spatiale et d'utilisation du sol. Ces modèles peuvent expliquer les mouvements entre des unités spatiales par le volume des activités isssu de chacune de ces unités, c'est-à-dire leur utilisation du sol (Webster, Bly et Paulley, 1988). La structure relationnelle des variables est affichée sur la figure 4.1. Selon ce modèle, l'utilisation du sol est un ensemble de quatre concepts: l'interaction (T), l'accessibilité (A), la structure de l'emploi (S) et la population (P) pour le système S au temps t:

$$U_{St} \supset \{T_{St}, A_{St}, S_{St}, P_{St}\} \qquad (4.1)$$

Les relations entre ces quatre concepts s'expriment par:

[1] $A_i = T_{si} + T_{is}$

$$\begin{aligned} T_{st} &= f(A_{st}, S_{st}, P_{st}) \\ A_{st} &= f(T_{st}, S_{st}, P_{st}) \\ S_{st} &= f(T_{st}, A_{st}, P_{st}) \\ P_{st} &= f(T_{st}, A_{st}, S_{st}) \end{aligned} \qquad (4.2)$$

Dans le cadre de cet article nous nous limiterons à la relation:

$$T_{st} = f(A_{st}, S_{st}, P_{st}) \qquad (4.3)$$

La structure relationnelle de cette équation permet d'estimer l'interaction résultante suite à des changements dans l'accessibilité, la structure de l'emploi et la population. Cependant, la structure causale n'est pas encore établie.

4.3 Etape 3: établir une causalité

Le réseau neuronal offre une méthodologie pour établir une structure causale entre différentes variables. Par définition, un réseau neuronal est *«un système dynamique parallèle qui effectue un traitement de l'information par sa réponse à un ensemble d'intrants»* (California Scientific Software, 1990; Caudill, 1990). Un réseau neuronal est constitué de couches de neurones qui sont interconnectées. Toute la logique de la représentation de l'information du réseau neuronal repose sur la configuration des connexions entre les neurones du réseau (Caudill, 1990). Il y a dans le plus simple des réseaux neuronaux, 3 couches de neurones: la couche des intrants, la couche des extrants et une couche intermédiaire. La couche des intrants se définit comme l'ensemble des neurones qui reçoivent l'information, tandis que la couche des extrants est l'ensemble des neurones qui donnent les résultats du traitement des intrants effectuée par la couche intermédiaire. La couche intermédiaire est située entre la couche des intrants et la couche des extrants. Son but est d'offrir un nombre important de connexions entre les couches d'intrants et d'extrants. L'objectif du réseau neuronal est donc de quantifier la structure causale suivante:

$$T_i = \sum_j T_{ij} = f(A_i, P_i, S_i) \qquad (4.4)$$

où: T_i = interaction totale du district i.
T_{ij} = interaction du district i vers le district j.

L'aspect d'un réseau neuronal reflétant cette structure causale est affiché sur la figure 4.2. Cette figure révèle que le réseau neuronal possède 286 connexions ($n(W_{ij})$). A partir de changements dans l'accessibilité, la structure de l'emploi et la population, ce réseau est en mesure d'estimer l'interaction entre les districts urbains de Shanghai.

4.4 Etape 4: résultats préliminaires

La carte 4.2 illustre les résultats préliminaires de la structure causale de l'équation 4.2. Les interactions de personnes à Shanghai se font essentiellement sur un axe nord-sud. Les districts d'origine sont situés dans la partie méridionale de la ville et les districts de destination dans la partie septentrionale. Les interrelations entre les éléments du problème, tel que défini par les systèmes expert permet l'élaboration de scénarios.

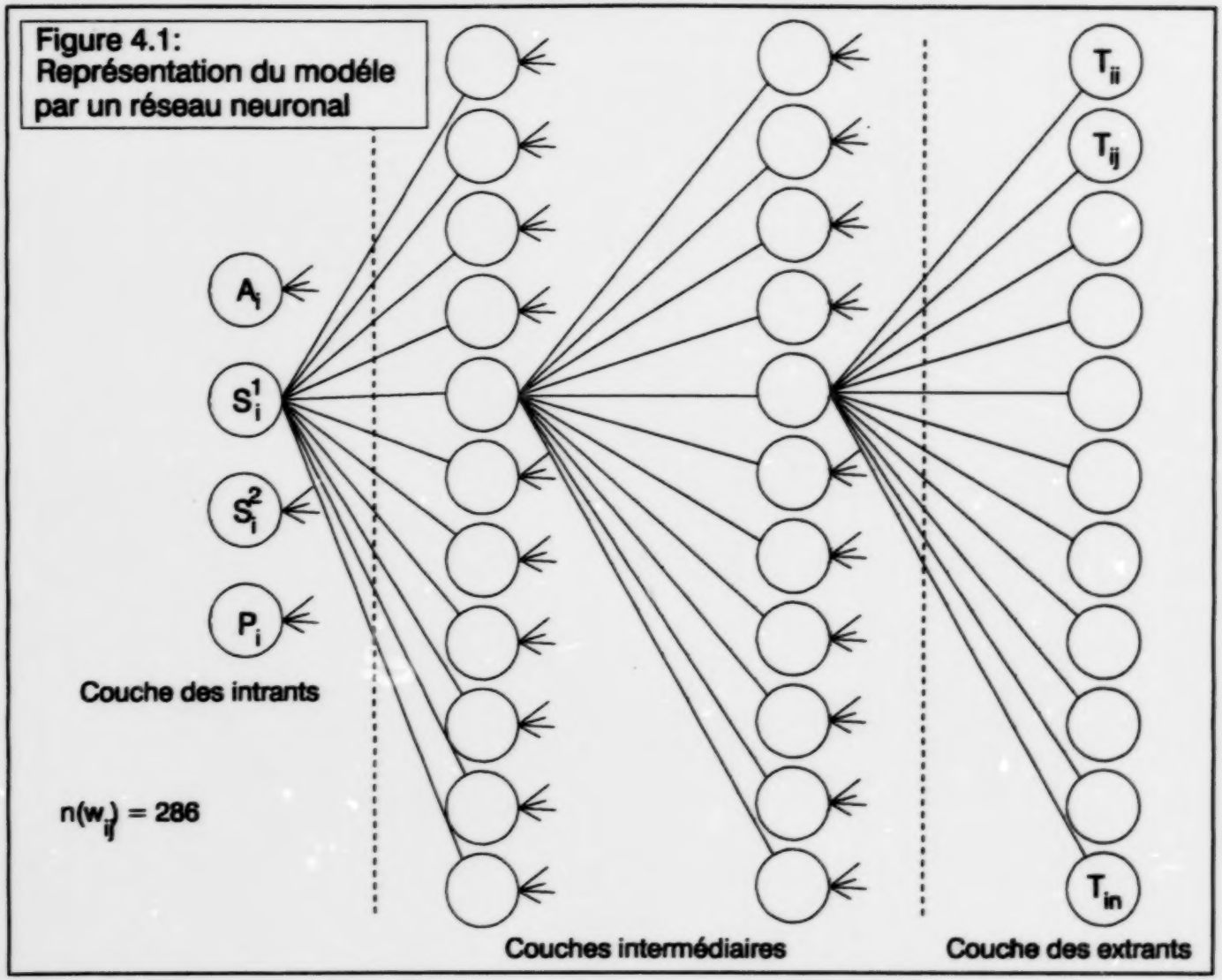
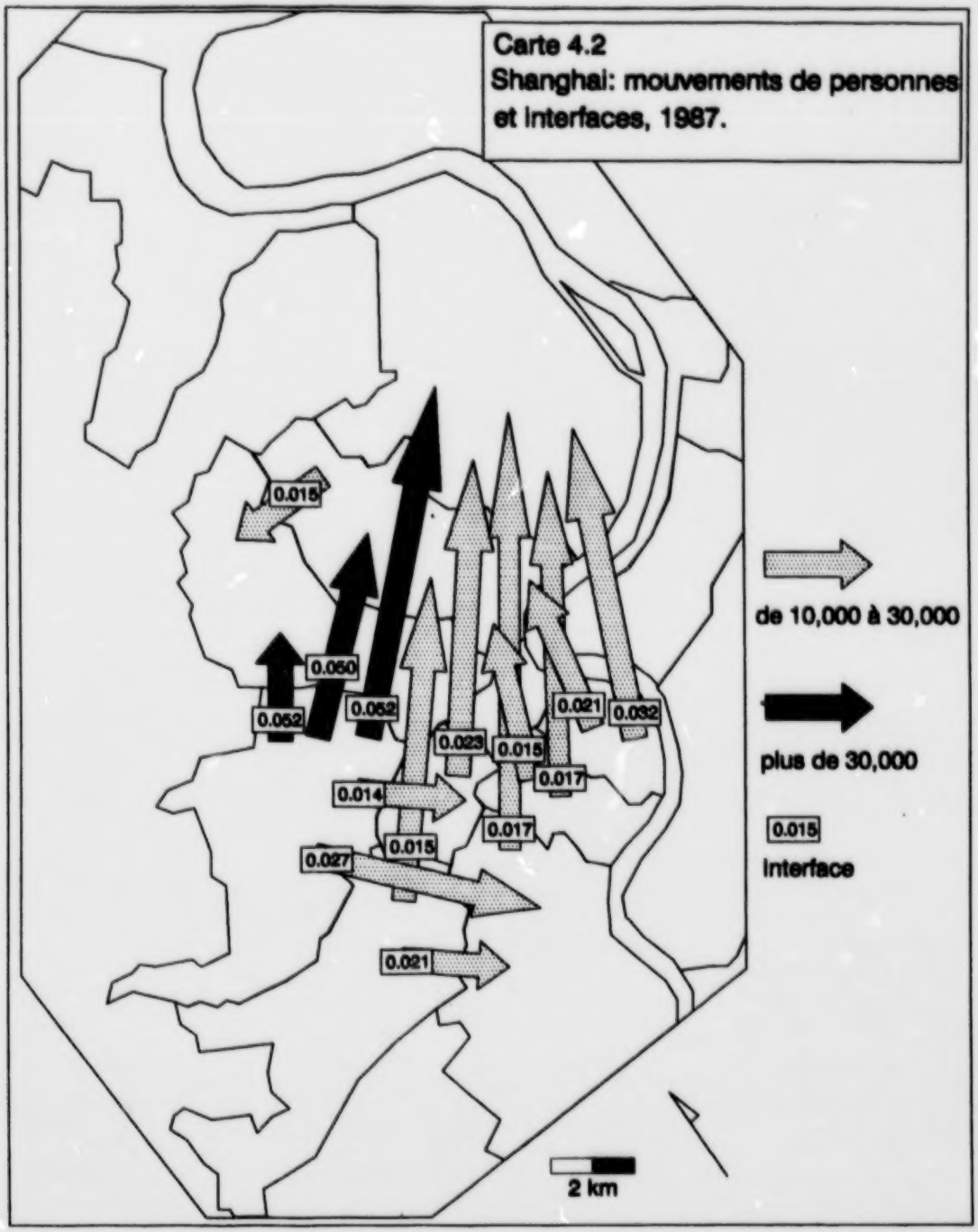


Figure 4.1:
Représentation du modéle
par un réseau neuronal
A_i
S_i^1
S_i^2
P_i
Couche des intrants
$n(w_{ij}) = 286$
T_{ii}
T_{ij}
T_{in}
Couches intermédiaires
Couche des extrants


Carte 4.2
Shanghai: mouvements de personnes et interfaces, 1987.
0.015
0.050
0.052
0.052
0.021
0.032
0.023
0.015
0.017
0.014
0.017
0.015
0.027
0.021
de 10,000 à 30,000
plus de 30,000
0.015
interface
2 km

4.5 Etape 5: analyse

Cette étape implique la soumission de plusieurs nouvelles conditions au système intra-urbain. Ces conditions sont de nouvelles valeurs que l'on assigne à un ou plusieurs éléments qui s'intègrent dans le cadre d'un scénario appliqué à Shanghai. Les nouvelles conditions sont soumises au réseau neuronal qui permet de généraliser ces conditions pour obtenir de nouvelles valeurs des interfaces entre les éléments spatiaux qui composent le système intra-urbain. Ces interfaces sont soumises à des programmes afin de déterminer le nouvel état du système urbain shanghaien.

De façon optimale, l'analyse implique que le SE supervise les résultats préliminaires, par des règles relatives à l'exploitation d'une base de connaissances. Le SE force la structure causale à produire des résultats répondant à des règles géographiques.

Tenant compte des changements majeurs dans la structure intra-urbaine de Shanghai, quelle serait la distribution spatiale et le volume des interactions? Pour estimer ces paramètres, il faut soumettre des conditions à la structure causale. De toute évidence, la variation des paramètres (P_i, S_i^1, S_i^2 et A_{ij}) est pratiquement illimitée, cependant nous nous en tiendrons à deux scénarios. La période temporelle ira de 1990 à 1995, dates qui correspondent selon le bureau de développement de la nouvelle zone de Pudong à Shanghai à la période du développement préliminaire de Pudong (Shanghai Pudong New Area Development Office, 1989). Les changements considérés sont d'ordre démographique, de trafic et occupationnel.

4.5.1 Population

Nous envisageons une augmentation générale de la population de 6%, soit un taux de croissance démographique annuel moyen de 1,17%. En 1987, les 12 districts urbains de Shanghai comptaient 7,181,000 habitants (Statistical Yearbook of Shanghai, 1990). Selon une projection démographique observée à partir du taux de croissance de la population, il est prévu que ces 12 districts urbains compterons quelque 7,611,860 habitants en 1995. En second lieu, le déplacement d'une partie des populations des districts centraux vers les districts périphériques est considérée. Cependant, à l'échelle du district urbain, ces déplacements sont difficilement perceptibles étant donné que la relocalisation peut se faire à l'intérieur d'un même district. Compte tenu des politiques de relocalisation de populations, une forte diminution de la population des districts de Jingan et Luwan est prévue.

4.5.2 Accessibilité

La planification des transports qui vise à décongestionner le centre ville repose sur la construction d'une autoroute qui le ceinture. Dans le cas de Shanghai, deux autoroutes sont prévues. La première sera construite immédiatement adjacente au centre. La construction de deux ponts au dessus de la rivière Huangpu est présentement en cours. Il en résultera une augmentation générale de l'accessibilité des districts de Huangpu et Nanshi qui seront désormais liés par le réseau routier au reste de la ville. La seconde autoroute périphérique marquera la limite du développement urbain de Shanghai. Elle ceintura l'ensemble de la municipalité afin d'éviter la congestion du réseau central, de même que celui de la première autoroute périphérique.

4.5.3 Structure de l'emploi

Le poids économique de Shanghai au sein de la Chine est essentiellement le résultat d'investissements massifs dans l'industrie lourde. Cependant, depuis le début des années 80, Shanghai réoriente progressivement sa production industrielle vers l'industrie légère. Aussi, le développement de Pudong est essentiellement orienté vers ce secteur.

L'analyse portera sur les impacts des changements de la structure industrielle, de l'accessibilité et de la population de Shanghai sur les mouvements de personnes[2]. Deux scénarios sont élaborés. Le premier (scénario A) repose sur une orientation plus importante vers le secteur industriel léger, et le second (scénario B) sur le maintient de la tendance observée.

Tableau 4.2
Changements de paramètres sur Shanghai (1990-1995).
Scénario A et (B)

	T_{ii}	T_{ij}	P_i	S_i^1		S_i^2		A_i
Changning	?	?	+6%	+30%	(+25%)	+5%	(+25%)	+10%
Hongkou	?	?	+15%	+30%	(+25%)	+5%	(+25%)	+20%
Huangpu	?	?	+15%	+125%	(+100%)	+5%	(+25%)	+150%
Jingan	?	?	-45%	-40%	(-40%)	-45%	(-40%)	+10%
Luwan	?	?	-50%	-50%	(-50%)	-50%	(-50%)	+10%
Nanshi	?	?	+20%	+225%	(+200%)	+5%	(+25%)	+150%
Putuo	?	?	+5%	+30%	(+25%)	+5%	(+25%)	+10%
Wusong	?	?	+25%	+30%	(+25%)	+5%	(+25%)	+20%
Xuhui	?	?	+16%	+30%	(+25%)	+5%	(+25%)	+10%
Yangpu	?	?	+25%	+30%	(+25%)	+5%	(+25%)	+10%
Zhabei	?	?	+7%	+30%	(+25%)	+5%	(+25%)	+10%

? = paramètre à estimer.

Les résultats de ces deux scénarios sont présentés sur les cartes 4.3 et 4.4.

4.6 Etape 6: synthèse

Les cartes 4.3 et 4.4 permettent d'avancer que les changements de la structure industrielle des scénarios A et B de Shanghai ont des impacts équivalents sur les mouvements des personnes. Les changements dans la nature et la distribution spatiale de l'interaction à Shanghai sont donc attribuables aux changements d'accessibilité et de densité de population issus des politiques urbaines de planification. Ces politiques sont principalement axés sur la relocalisation de populations et l'amélioration du réseau routier par la construction de deux autoroutes périphériques. L'interface de personnes prévue entre les districts urbains de Shanghai se résume par les points suivants:

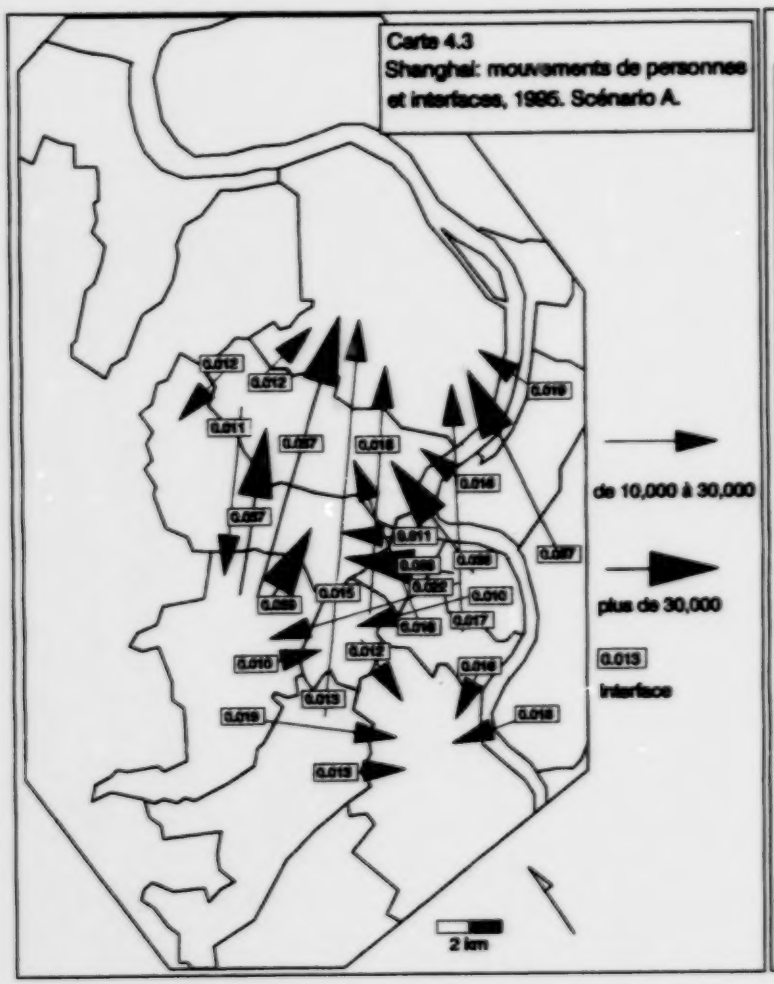
1) des interfaces de personnes accrues entre Pudong et Puxi, particulièrement de Pudong vers Puxi.
2) une nouvelle configuration spatiale des interfaces de personnes qui cependant conserve la même géométrie spatiale compte tenu que les zones de destination restent les mêmes.
Ces points permettent de souligner la caractère à long terme de l'utilisation fonctionnelle du sol.

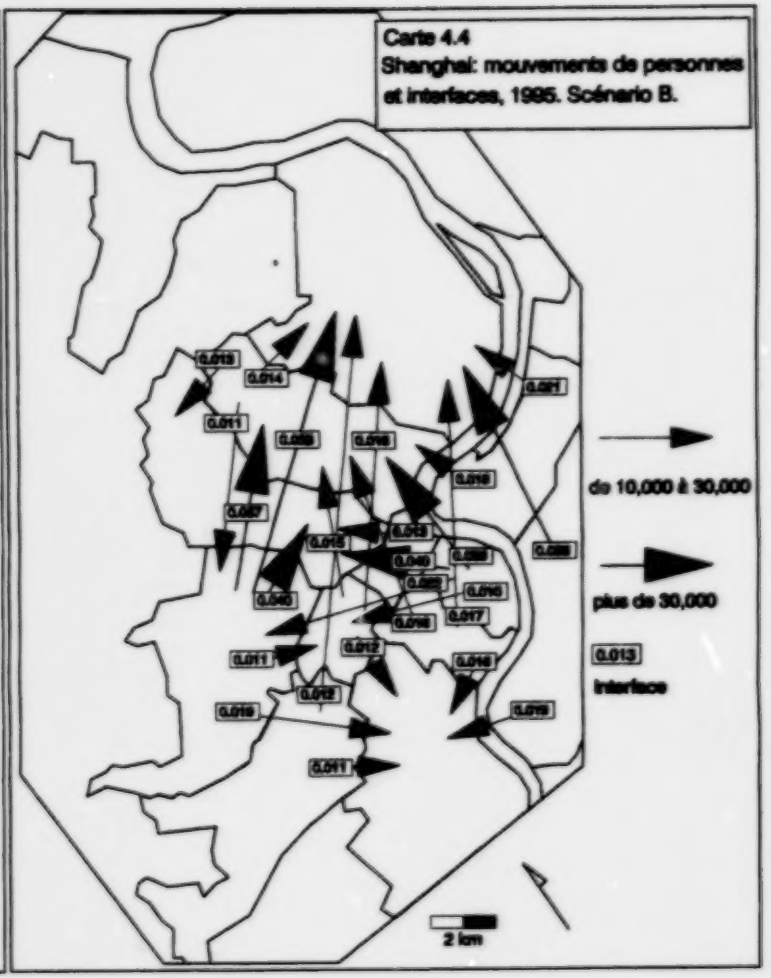
---

[2] Les mouvements de personnes entre deux districts (I_{ij}) s'expriment par:

$$I_{ij} = \frac{T_{ij}}{T}$$

où: T_{ij} = interaction de personnes entre le district i et la district j
T = interaction totale de personnes du système.


Carte 4.3
Shanghai: mouvements de personnes et interfaces, 1995. Scénario A.
de 10,000 à 30,000
plus de 30,000
0.013
interface
2 km


Carte 4.4
Shanghai: mouvements de personnes et interfaces, 1995. Scénario B.
de 10,000 à 30,000
plus de 30,000
0.013
interface
2 km

4.7 Etape 7: évaluation

Au niveau actuel des connaissances, seul un cerveau humain peut évaluer des résultats et les utiliser pour produire de l'information supplémentaire, car aucun simulacre de raisonnement artificiel n'y est encore parvenu. Avec des données sur l'interaction se limitant aux mouvements de personnes, il est difficile d'évaluer pleinement l'interface entre les districts urbains de Shanghai, car l'interface se mesure conjointement par les mouvements de personnes, de marchandises et d'informations. Cependant, les éléments recueillis permettent d'identifier des lacunes de l'interface de personnes entre Pudong et Puxi en dépit du raccordement de ces deux parties de la ville par un réseau routier moderne. Un analyse des cartes 4.3 et 4.4 laisse voir des interfaces de personnes d'un seul sens, soit de Pudong vers Puxi. De plus, nombre d'interfaces de personnes sont trop importantes compte tenu de la distance telle que celle entre les districts du sud de la ville (Putuo, Changning) et les districts du nord (Hongkou, Yangpu). Ceci génère une sur-utilisation du réseau de transport routier et des congestions subséquentes puisque nombre de personnes doivent traverser la ville pour se rendre à leurs lieux de travail.

Les politiques de planification de Shanghai reposent donc sur la problématique du transport de passagers et du transport de marchandises sur un réseau routier congestionné. Une première étape dans la réduction de la congestion serait d'éviter les mouvements inutiles de personnes du sud vers le nord de la ville. Etant donné que les autorités projettent une relocalisation importante de la population, il existe une réelle possibilité de relocaliser les personnes pour minimiser les distances à parcourir vers les lieux de travail. Dans le cas du transport de marchandises, la réorientation de l'économie shanghaienne vers le secteur industriel léger laisse entrevoir une forte croissance de ce secteur, compte tenu que ce type de production utilise massivement le transport routier. La construction de deux autoroutes périphériques ne sera pas sans faciliter le transport des marchandises.

5. Conclusion

L'élaboration d'un système expert opérationnel est une tâche extrêmement complexe dont on commence à envisager la conception. La figure 5.1 présente d'une part l'ensemble théorique des étapes d'un SE, et d'autre part l'application de ces étapes à Shanghai. Dans le cadre de cet article, les étapes 2 (structure relationnelle des variables), 5 (Analyse), 6 (Synthèse) et 7 (Evaluation) du processus de raisonnement ont été résolues sans implantation informatique. Une implantation informatique de l'ensemble de ces étapes est actuellement irréalisable, particulièrement pour la synthèse et l'évaluation d'un problème. Il est tout de même possible de résoudre artificiellement plusieurs étapes, notamment la collecte des données et connaissances, l'établissement d'une causalité et l'obtention de résultats préliminaires). La méthodologie développée offre un processus de raisonnement qui permet de décomposer un problème en une suite d'étapes logiques. Deux constatations doivent être soulignées sur les limites et les possibilités des systèmes experts.

D'une part, un système expert est seulement en mesure d'élaborer des informations selon des processus définis formellement alors que le fonctionnement du cerveau humain, dont on tente de fournir une équivalence par le système expert, est essentiellement de type non formel, qui permet la créativité grâce à l'imagination et dont nombre de découvertes sont iefruit du hasard. A Shanghai, nombre de problèmes de transport ne peuvent présentement être résolus sans l'apport de nouvelles méthodologies qui permettraient dans un premier temps de comprendre et d'évaluer des problèmes. Dans de telles conditions, l'élaboration d'un système expert à Shanghai peut paraître prématurée.

D'autre part, il importe de permettre au spécialiste de développer son expertise, de

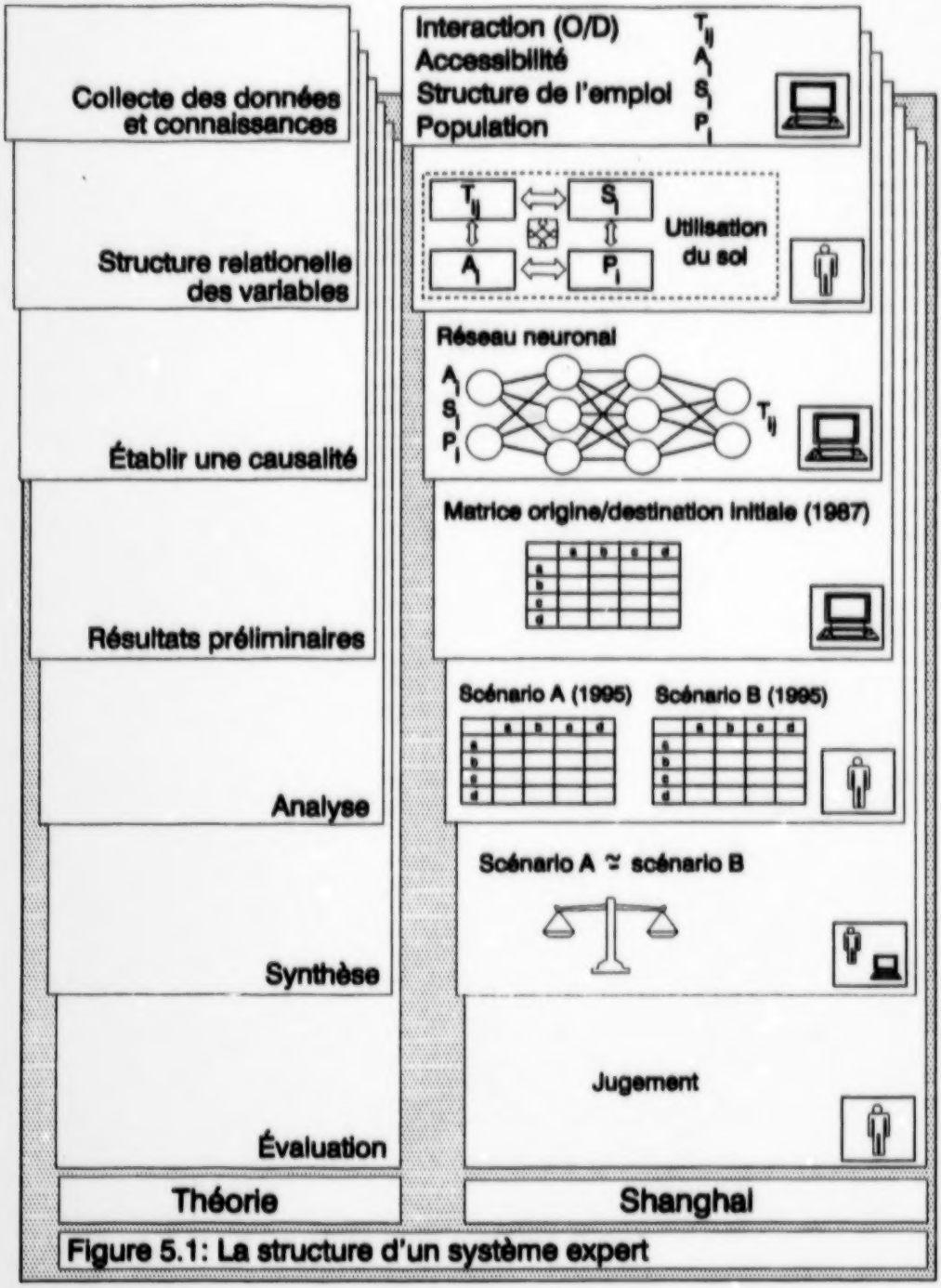


Figure 5.1: La structure d'un système expert

soulever d'importantes questions d'éthiques professionnelles, de collaborer au sein d'équipes composées d'experts de différents milieux et d'élaborer des moyens de mieux transmettre ses connaissances. Dans un tel contexte, l'intérêt qui consiste à utiliser la méthodologie des systèmes experts d'abord en tant que carrefour des différences entre spécialistes, mérite certes d'être approfondie.

Références

Abrahamsohm, G.A., N.A. Irwin et P. McKnight (1986) "Expert Systems", Transportation Forum, Vol. 3, No. 3, pp. 41-45.

Berechman, J et K.A. Small (1988) "Research Policy and Review 25. Modelling Land Use and Transportation: an Interpretative Review for Growth Areas", Environment and Planning A, Vol. 20, pp. 1285-1309.

California Scientific Software (1990) Introduction to Neural Networks, 3rd Edition, Sierra Madre, 255 pages.

Caudill, M. (1990) Neural Network Primer, Ai Expert, Miller Freeman Publications, San Francisco, 64 pages.

Comprehensive Plan of Shanghai (s.d.) Shanghai: Bureau of Shanghai Urban Planning and Building Administration.

Comtois, Claude (1989) La transformation du littoral urbain: application shanghaienne, Université de Montréal, Centre de recherche sur les transpots, publication #CRT-626, 30 pages.

Cordier, M.O. (1984) "Les systèmes experts", La Recherche, No. 151, pp. 60-70.

D'Ambrosio, B. (1985) "Expert Systems - Myth or Reality", Byte, pp. 275-282.

Ganascia, J.G. (1985) "La conception des systèmes experts", La Recherche, pp. 1141-1151.

Gunnarsson, O. et S. Leleur (1989) "L'évolution de la planification des transports urbains - l'approche moderne des problèmes des transports urbains", Prospect, Vol. 2, pp. 2-6.

Hall, K.T., J.M. Connor, et S.J. Carpenter (1987) An Expert System for Concrete Pavement Evaluation and Rehabilitation, Urbana-Champaign: Department of Civil Engineering, University of Illinois, 25 pages.

Michaelsen, R.H., D. Michie et A. Boulanger (1985) "The Technology of Expert Systems: Transplanting Expert Knowledge to Machines", Byte, pp. 303-312.

Mutlu, S. (1979) Interregional and International Mobility of Industrial Capital: the Case of the American Automobile and Electronics Companies, Ph.D. dissertation, Berkeley: University of California.

Neapolitan, R.E. (1990) Probabilistic Reasoning in Expert Systems: Theory and Algorithms,

Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, 433 pages.

Negoita, C.V. et D. Ralescu (1987) Simulation, Knowledge-based Computing and Fuzzy Statistics, Van Nostrand Reinhold Electrical/Computer Science and Engineering Series, Van Nostrand Reinhold COmpany Inc., New York, 158 pages.

Pederson, K. (1989) Expert Systems Programming: Practical Techniques for Rule-Based Systems, Wiley, Toronto, 298 pages.

Pryor, E.G. (1987) "Land Use - Transport Strategy Formulation in Hong Kong", Land Use Policy, pp. 257-279.

Schank, R.C. (1987) "What is AI anyway?", The AI Magazine, Vol. 8, No. 4, pp. 59-65.

Shafer, G. (1976) A Mathematical Theory of Evidence, Princeton University Press, Princeton.

Shanghai Pudong New Area Development Office (1989) The Projects of Shanghai Pudong New Area (Draft).

Spillman, R. (1990) "Managing uncertainty with belief functions:, AI Expert, Vol. 5, No. 5.

Statistical Yearbook of China (1985) Hong Kong: Economic Information and Agency.

Thompson, B.A. et W.A. Thompson (1985) "Inside an Expert System: from Index Cards to Pascal Program", Byte, pp. 315-330.

Webster, F.V., P.H. Bly and N.J. Paulley (eds) (1988) Urban Land-use and Transport Interaction: Policies and Models: Report of the International Study Group on Land-use/Transport Interaction (ISGLUTI), Gower Publishing Company Limited, Aldershot, 520 pages.

Yager, R.R, S. Ovchinnikov, R.M. Yong et H.T. Nguyen (eds) (1987) Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers by L.A. Zadeth, Wiley, New York.

Zadeth, L. (1965) "Fuzzy sets", Information and Control, Vol. 8, pp. 338-355.